

설계구속인자를 고려한 자갈하상 하천의 안정하도 설계

지운^{1,2}, 장은경^{*}

¹한국건설기술연구원 수자원·하천연구소

²과학기술연합대학원대학교 건설환경공학과

Stable Channel Design for the Gravel-bed River Considering Design Constraints

Un Ji^{1,2}, Eun-Kyung, Jang^{*}

¹Hydro Science and Engineering Research Institute, Korea Institute of Civil Engineering and Building Technology

²Department of Construction Environment Engineering, University of Science and Technology

요약 안정하도 설계는 상류에서 유입되는 유사량과 설계 단면에서 발생하는 유사량이 같아지는 조건을 만족하는 하도의 하폭, 수심, 경사를 결정하는 것을 의미한다. 따라서 안정하도를 설계할 때 가장 지배적인 영향을 미치는 변수는 단면 발생 유사량 계산을 위한 공식의 선정이다. 특히 자갈로 구성된 하상의 유사량을 산정할 경우 모래 하천을 기준으로 개발된 유사이송공식을 활용하게 되면 산정 값에서 큰 오차가 발생 할 수 있다. 따라서 본 논문에서는 자갈하상에 적용가능 한 유사이송 공식을 기존의 안정하도 설계 프로그램에 추가하여 자갈하천 안정하도 단면을 계산하였으며, 특히 설계구속인자가 존재할 경우에 대해 해석적 방법을 적용하여 안정하도 단면을 도출하였다.

그 결과, 하폭의 변화가 제한된 조건의 경우 가장 얇은 수심을 제시한 공식은 Ackers and White 공식이었으며, 자갈하상 공식인 Meyer-Peter and Müller 공식의 경우 실제 하천 수심 2.4 m에 비해 0.8 m 깊은 수심이 발생하였다. 수심의 변화가 제한된 조건에서는 Engelund and Hansen 공식이 실제 하폭에 비해 약 2배 큰 하폭을 제시하였으며, Meyer-Peter and Müller 공식의 경우 실제 하천 하폭 44 m 보다 약 20 m 큰 하폭을 제시하였다.

Abstract Stable channel design is to determine the width, depth and slope for satisfying the condition that the upstream incoming sediment rate is equal to the sediment transport rate at the design channel. Therefore, the most sensitive variable when designing a stable channel is the selection of a sediment transport equation applied for the channel design. Especially if in the case of gravel beds the designer uses the equation developed by using the data of sand rivers, the calculation result of the stable channel section has large errors. In this study, the stable channel design has been applied to the gravel bed river using the previous stable channel design program with newly added the sediment transport equation for gravel beds; and the stable channel section considering design constraints has been produced by using the analytical method.

As results, in the case of the application with the fixed width, the depth predicted by Ackers and White's equation was the shallowest and Meyer-Peter and Müller's equation was 0.8 m deeper than the current section of 2.4 m. In the case of the application with the fixed depth, the width predicted by Engelund and Hansen's equation was twice wider than the current section and by Meyer-Peter and Müller's equation was 20 m wider than the current section of 44 m.

Key Words : Gravel-bed River, River Restoration, Sediment Transport Equation, Stable Channel Design

본 연구는 국토교통부 물관리연구사업의 연구비지원(12기술혁신C02)에 의해 수행되었습니다.

*Corresponding Author : Eun-Kyung Jang(Korea Institute of Civil Engineering and Building Technology)

Tel: +82-31-910-0188 email: jang@kict.re.kr

Received February 2, 2015

Revised (1st March 12, 2015, 2nd March 20, 2015)

Accepted April 9, 2015

Published April 30, 2015

1. 서론

하천 복원 및 설계에 있어 현재 하도의 지형변화에 대해 안정성을 최대화하면서 동시에 하천 유지관리 작업을 최소화하기 위해서는 안정하도 단면의 평가와 설계가 반드시 필요하다. 안정하도 설계는 침식과 퇴적이 지속적으로 변화하지만 장기적으로 평형을 이루는 하천을 의미한다. 안정하도 설계는 안정한 하폭, 수심과 일정한 경사를 계산하여 안정하도 설계시 필요한 하도 특성 값들의 여러 대안을 도출하는 것이다. 하도형성유량과 유입유수량 조건하에 유입유수량과 설계되는 단면에서의 유사발생량이 같아지는 조건을 만족하는 단면의 하폭, 수심, 경사 등을 결정한다[1].

Griffiths[2]는 경험적인 안정하도공식을 이용하여 충격하천에 대한 안정하도 설계 연구를 수행하였으며, Abou-Seida and Saleh[3]은 미국, 파키스탄, 인도 등의 현장 측정 자료를 활용하여 안정하도 설계 모델을 개발하였다. Shields et al.[4]은 하천복원을 위한 국부적인 구간을 대상으로 안정하도 단면을 평가하는 연구를 수행하였으며, Ji, et al.[5]은 침미천 구하도 복원 대상구간에 대해 평형하상 이론을 적용하여 안정하도 평가 및 설계연구를 수행하였다. 그러나 현재 안정하도 설계 방향이 하폭을 기준으로 수심과 경사를 결정하는 것에 반해 실제 국내 하천설계 또는 복원을 수행하는 과정에서는 이미 설치된 제방으로 인해 하폭의 변경 또는 조정이 불가능한 경우가 많다. 따라서 이러한 하도설계구속 인자로 하폭뿐만 아니라 수심 및 경사의 조정이 어려운 경우에 대해서도 적용가능한 안정하도 분석 및 설계 방법이 필요하다.

또한 안정하도 단면의 결정은 유입유수량과 단면내에서 발생한 유사량이 같을 경우를 기준으로 하기 때문에 가장 지배적인 영향을 미치는 인자가 단면에서 유사량을 추정하는 유사이송공식의 선택임을 알 수 있다. 따라서 안정하도를 설계하고자 하는 대상하천에 따라 유사이송공식 선정에 각별한 주의가 요구되며 특히 자갈하상을 대상으로 안정하도 단면을 설계할 경우 자갈하상 자료를 기초로 개발된 유사이송공식을 안정하도 설계시 선택할 필요가 있다.

본 연구에서는 자갈하상의 대상하천에 대해 설계구속인자를 고려하여 유사이송공식 별 안정하도 단면을 설계하고 평가하고자 한다. 본 연구를 통해 국내 자갈하상 하천을 대상으로 안정하도 단면 계산시 경우 적용 가능한

유사이송공식에 대한 평가와 설계구속인자들이 존재할 경우 대처할 수 있는 안정하도 단면 설계 방법에 대한 참고 자료들을 제공할 수 있다.

2. 대상구간 및 입력조건

2.1 대상구간의 개요

원주천은 섬강의 제 1지류로 동남단 남대봉의 서쪽 능선 고지에서 발원하여 남쪽으로 유하하다가 한강 제 1지류인 섬강에 합류하는 유료연장 27.88 km, 유역면적 150.33 km²의 하천이다[6]. 원주천 유역은 1998년 이후 모두 4차례에 걸친 하천 범람으로 인한 홍수 피해로 인해 142명의 이재민이 발생하는 등 큰 피해가 발생한 곳이다. 이로 인해 최근 원주천 홍수 조절 능력 향상을 위한 상류댐 건설을 최종 확정하였으며 2017년 착공을 앞두고 있다. 따라서 원주천의 경우는 하천정비 사업 시행 및 댐 건설 전·후 유지·관리 방안 도출 등을 위해 안정하도 단면의 평가와 분석이 필요하며 안정하도 설계를 통해 얻어진 여러 대안들을 직접적으로 활용할 수 있다. 자갈하상인 원주천을 대상으로 안정하도 단면 계산을 수행하기 위해 본 연구에서는 Fig. 1과 같이 원주천 하천정비 기본계획[6]에서 제공한 지형 데이터 중 No. 27에서 No. 55 까지 2.7 km 구간을 대상구간으로 선정하였다.

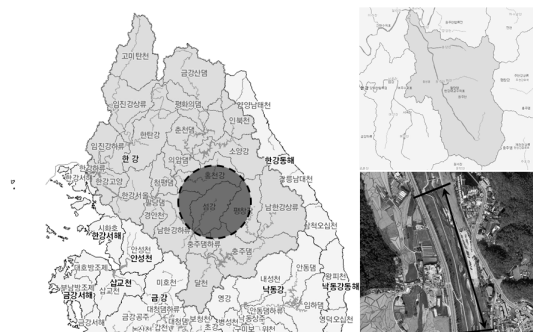


Fig. 1. Wonju Stream Watershed and Study Reach

2.2 안정하도 단면 결정을 위한 입력조건

안정하도 설계 및 평가를 위한 입력자료로는 하도형성유량, 하천경사, 하상입도분포, 유입유수량 등이 있으며, 하도형성유량 산정방법에는 만계유량, 빈도유량, 유효유량 등이 있다. 하도설계에 기준이 되는 하도형성유량을 결

정하기 위한 세 가지 방법 중 만제유량은 기준이 되는 단면의 만제수위에 해당하는 유량으로 산정하며, 만제유량의 경우 선택하고자 하는 만제지표에 따라 그 값이 달라질 수 있다. 본 연구에서 활용한 만제수위 지표는 만제유량을 산정하는 일반적인 방법인 McCandless[7]가 제시한 방법을 활용하였다. McCandless[7] 방법은 McCandless[7]가 미국 Maryland 주에 위치하고 있는 하천을 대상으로 만제유량을 산정하기 위해 적용했던 만제유량 및 수위 지표를 구분하는 방법이다(Fig. 2(a)). 본 연구에서는 육안으로 확인이 용이한 홍수터 경계를 활용하여 No. 43 단면을 기준으로 만제유량 306.2 m³/s를 선정하였다.

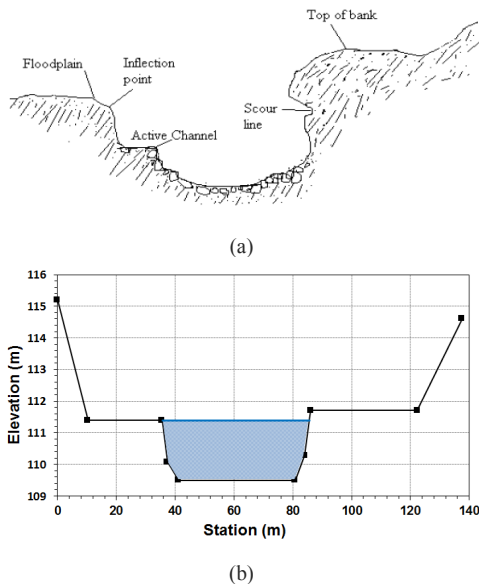


Fig. 2. Bankfull Discharge (a) Indicators [7] (b) Result using HEC-RAS

하상도 입도분포(Fig. 3)와 하천 조도계수는 원추천 하천정비기본계획[6]에서 제공한 데이터를 활용하였으며, 중앙입경은 19.9 mm로 자갈하상인 것으로 나타났다. 안정하도 설계를 위한 입력조건 중 가장 지배적인 영향을 미치는 인자들 중 하나는 유입유사량 자료이다. 그러나 본 논문의 사례연구 대상구간은 자갈하상의 특성을 갖는 하천이지만 유입유사량 관측자료가 부재한 관계로 유입유사량 산정을 위해 모래하상 공식인 Engelund and Hansen[8] 유사이공식을 활용하여 계산된 2012년의 일유사량 자료를 활용하였다. 따라서 유입유사량 산정공식을 달리할 경우 안정하도 설계결과가 상이하게 도출될 수 있는 한계가 있으며 본 연구와 같은 시험 계산이 아닌 실

제 하도 설계에서는 유사이송공식 선택뿐만 아니라 유사이송공식 별 매개변수 고려에 반드시 실측자료를 활용하거나 추가적인 민감도 분석을 수행해야 한다.

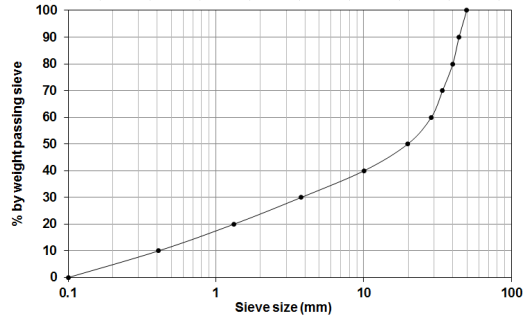


Fig. 3. Particle Size Distribution of Bed Materials

2.3 유사량 공식의 선정

지금까지 개발된 유사량 공식은 수십개에 달한다. 그러나 각 유사량 공식에 따라 산정되는 결과는 크게 100배의 차이가 나기도 하며 이는 실측치와의 비교에서도 그 차이를 확인할 수 있다[9]. 예를 들어 Ji[10]의 연구에서는 모래하천인 낙동강의 진동지점에서 측정된 유사량을 여러 유사량 공식으로 산정한 값들과 비교하는 연구를 수행하였으며 그 결과 Ackers and White[11], Yang[12], Shen and Hung[13], Brownlie[14] 공식으로 산정한 유사량은 실제 측정된 유사량과 비교적 일치하였고 Engelund and Hansen[8] 공식으로 산정한 유사량은 다소 과다산정되는 것으로 나타났다. 이처럼 유사량 산정시 유사이송공식의 선택 및 적용은 결과값에 매우 중요한 영향을 미치기 때문에 실무적으로 가장 신중히 고려해야 할 부분이다. Shen[15]와 Wu and Ryu[16] 등 다양한 연구자들은 기존 유사량 공식들의 상호 비교 분석 연구를 수행하였으며, 하상재료의 구성이 유사량 산정에 가장 민감한 영향을 미치는 것으로 나타났다.

원추천과 같이 자갈하상으로 구성된 하천은 기존 안정하도 설계 시 가장 많이 활용되고 있는 Brownlie[14]의 모래하천 유사이송공식을 적용할 경우 안정하도 단면 계산 결과에 큰 불확실성이 존재할 수 있기 때문에 대표적인 자갈하상공식인 Meyer-Peter and Müller[17] 공식을 비롯한 모래하천 공식인 Ackers and White[11] 및 Engelund and Hansen[8], Brownlie[14] 공식을 함께 적용하여 안정하도단면 계산 결과 값을 비교분석할 필요가 있다.

3. 안정하도 단면 계산

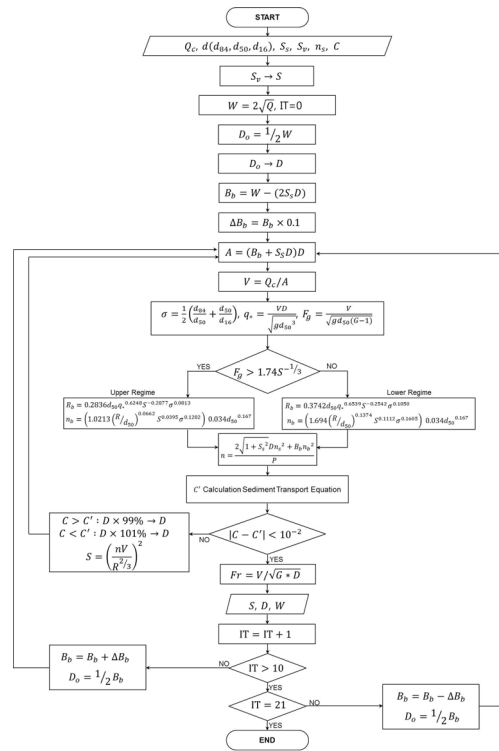
3.1 Copeland 방법

지배방정식의 해를 동시에 계산하여 해석적인 방법으로 안정하도를 설계하는 방법들은 여러 연구자들에 의해 제안되었다. 이러한 여러 해석적 방법들 중 Copeland의 방법[18]은 실제로 총적하천에서의 안정하도 평가 및 설계에 가장 많이 이용되고 있으며 미공병단에 의해 개발된 SAM(Stable Channel Analysis Model) 모형에서 채택하고 있는 해석적 방법 중 하나이다. 이 방법은 Abou-Seida와 Saleh 방법[19]과 유사하며 3개의 미지수 중 2개를 먼저 계산하고 설계자가 제 3의 미지수를 여러 개의 솔루션들 중 설계 조건 및 지형학적 구속 조건들에 가장 적합한 하나를 채택하도록 되어있다. SAM 모형은 한 개의 솔루션이 아닌 여러 개의 솔루션을 최종적으로 제시해 주며 최소 수류력을 갖는 솔루션도 같이 제시한다[5]. 본 논문에서는 Copeland[18]의 해석적 안정하도 분석 방법의 계산 알고리즘을 활용한 계산방법을 선정하여 다양한 유사량 산정식이 적용 가능하도록 하였다.

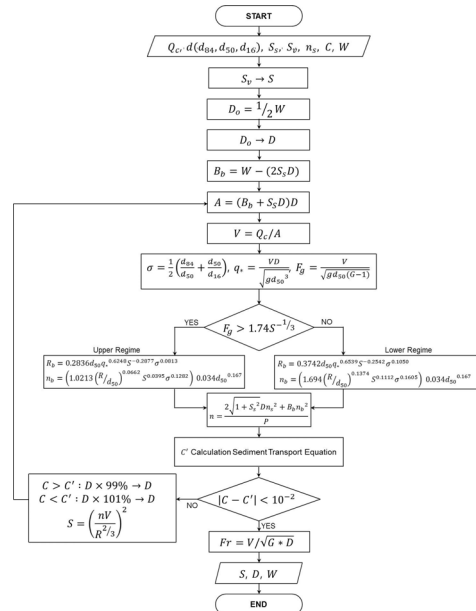
3.2 설계인자를 고려한 안정하도 단면 계산 알고리즘

본 논문에서는 국토교통부[20]의 물관리연구사업에서 개발된 다양한 유사이송공식이 적용 가능한 안정하도 설계 프로그램 개발을 위한 3가지 형식의 알고리즘을 활용하여 대상하천의 안정하도 평가를 수행하였다. 안정하도 단면 계산은 Copeland[18]의 해석적 안정하도 분석 방법과 마찬가지로 경사, 수심, 하폭의 3가지 미지수 중 안정하폭 공식을 활용하여 안정 하폭을 결정된 다음 수심과 경사를 시행오차법을 이용하여 해를 도출한다. 3가지 미지수 중 아무것도 결정된 것이 없을 때 USACE[21]에 의해 제안된 안정하폭 경험식을 활용한 알고리즘(Fig. 4(a))을 활용하여 계산한다.

또한 실무적으로 하천복원 사업을 수행하는 과정에서 존재 할 수 있는 지형학적 한계를 고려하기 위해 설계자가 하폭을 결정하는 것이 불가능할 경우 수심을 가정하고 하곡경사를 초기경사로 가정한 다음 반복적인 계산 수행하게 된다(Fig. 4(b)). 반대로 단면 설계시 수심 값을 고정해야 할 경우 수심을 입력자료로 설정한 후 안정하폭과 경사를 결정한다(Fig. 4(c)). 이러한 계산과정을 통해 원주천 대상 구간의 안정하도 단면을 설계하고 분석하였다.



(a)



(b)

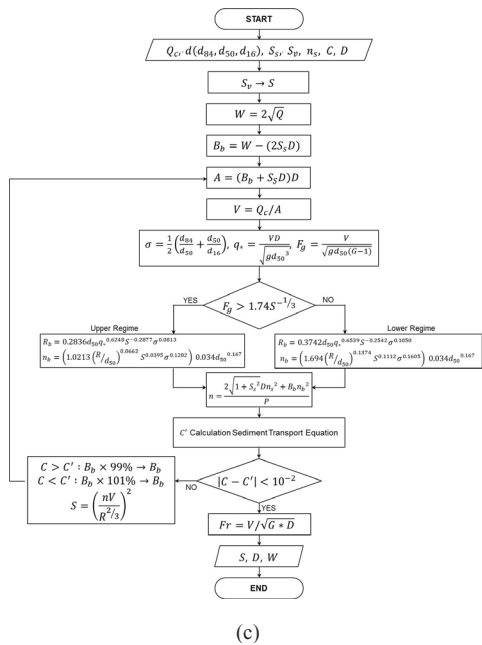


Fig. 4. Algorithm for Stable Channel Design Calculation [19] (a) using the Stable Width Equation and (b) with the Geomorphologic Constraint by Channel Width and (c) with the Geomorphologic Constraint by Channel Depth

4. 원주천의 안정하도 설계 결과

4.1 하상 경사의 변화가 제한된 조건에서의 안정하도 설계

본 논문에서는 원주천의 안정하도 설계 결과를 설계 구속 인자에 따라 정리하였으며 하상경사의 변화가 없는 조건에서의 결과는 다음과 같다.

원주천의 현재 하상경사인 0.0043은 바닥 폭 43.87 m를 기준으로 각 유사이송공식별 산정된 안정하도 경사에 비해 급한 경사인 것으로 나타났다(Fig. 5(a)). Engelund and Hansen[8] 공식의 경우 현재 단면과 가장 큰 차이를 나타냈으며 안정 하상경사로 0.0013을 제시하였다. 자갈하상 공식인 Meyer-Peter and Müller[17] 공식의 안정 하상경사도 0.0023을 제시하여 현재 하상과 0.002의 차이가 있는 것으로 나타났다. 현재 수심 2.4 m와 하상경사 0.0043을 기준으로 한 안정하도 평가 결과 (Fig. 5(b)), Ackers and White[11] 공식은 0.0036,

Brownlie[14] 공식은 0.0031, Meyer-Peter and Müller[17] 공식은 0.003, Engelund and Hansen[8] 공식의 경우 0.0016을 제시하였다.

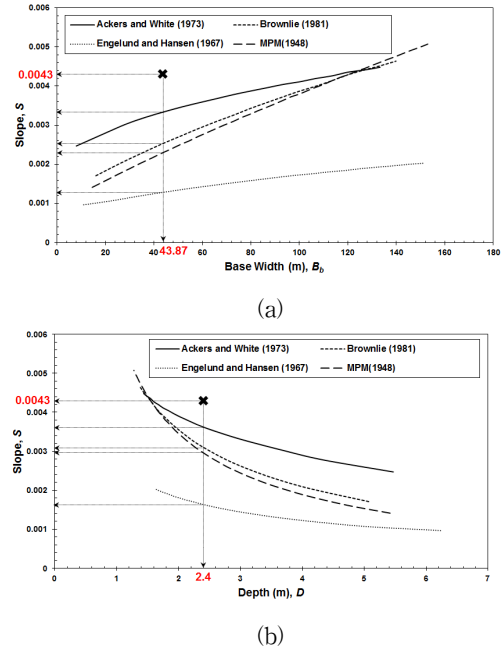


Fig. 5. Calculation Results of Relations between (a) Stable Slope (S) and Base Width (Bb); and (b) Stable Slope (S) and Depth (D)

4.2 하폭의 변화가 제한된 조건에서의 안정하도 설계

설계구속 인자 중 현재 단면의 하폭인 43.87 m의 변화가 제한되었다는 조건하에 안정하도 경사와 수심을 산정하였다(Fig. 6). 모든 유사량 공식에서 현재 원주천 해당 단면 수심에 비해 깊은 수심을 제시하였다. 가장 낮은 수심을 제시한 공식은 Ackers and White[11] 공식이었으며 2.90 m의 수심을 제시함으로써 실제 수심인 2.40 m과 약 0.5 m 차이가 있는 것으로 나타났다. 또한 Engelund and Hansen[8] 공식은 가장 깊은 수심인 3.67 m를 제시하였으며 이는 실제 하천 수심에 비해 1.5 m의 차이가 있는 것으로 나타났다. 자갈하상 공식인 Meyer-Peter and Müller[17] 공식의 경우 3.20 m의 안정 수심을 제시하여 실제 하천과는 0.8 m의 차이가 발생하였다(Table 1).

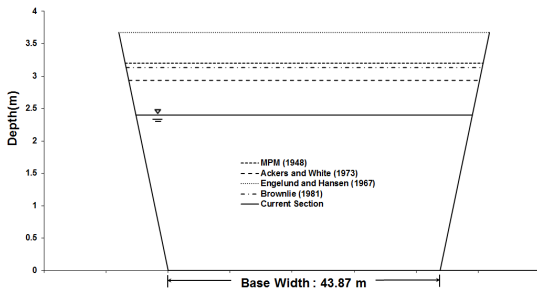


Fig. 6. Comparison of Stable Depth Calculations with the Fixed Base Width

Table 1. Calculation Results of Stable Channel Section with the Fixed Base Width

	Base Width	Slope	Depth
Meyer-Peter and Müller[17]	43.87 m	0.002322	3.20 m
Ackers and White[11]		0.003504	2.90 m
Engelund and Hansen[8]		0.00129	3.67 m
Brownlie[14]		0.002536	3.13 m
Current Section		0.0043	2.40 m

또한 현재 바닥폭을 기준으로 한 안정경사 분석 결과 모든 공식이 현재 단면경사 0.0043에 비해 완만한 경사를 제시하는 것으로 나타났다. 가장 급한 경사를 제시한 공식은 Ackers and White[11] 공식으로 0.003504의 경사를 제시하였다. Engelund and Hansen[8] 공식은 가장 완만한 경사인 0.00129를 제시하였으며, Meyer-Peter and Müller[17] 공식의 경우 0.002322를 제시하는 것으로 나타났다(Fig. 7).

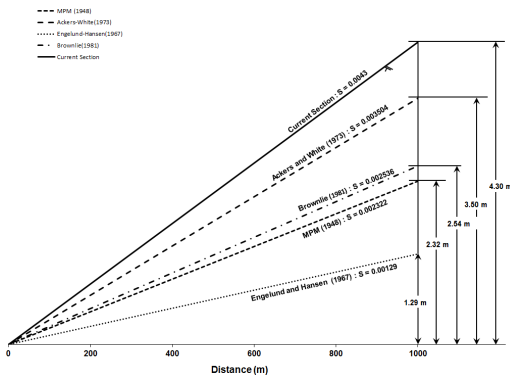


Fig. 7. Comparison of Stable Channel Slope with the Fixed Base Width

4.3 수심의 변화가 제한된 조건에서의 안정하도 설계

설계 인자 중 현재 단면의 수심인 2.47 m를 고정한 상태에서 안정하도 경사와 하폭을 산정하였다(Fig. 8). 먼저 모든 유사량 공식에서 안정하폭으로 현재 원주천 해당 단면 하폭 43.87 m에 비해 넓은 하폭을 제시하였다. Ackers and White[11] 공식의 경우 60.56 m로 현재 단면에 비해 약 1.4배 넓은 하폭을 제시하였으며 특히 Engelund and Hansen[8] 공식은 85.47 m를 제시하여 실제 하폭에 비해 약 2배의 차이가 있는 것으로 나타났다. 자갈하상 공식인 Meyer-Peter and Müller[17] 공식의 경우 67.18 m의 안정하폭을 제시하여 실제 하천과는 23.3 m의 차이가 발생하였다(Table 2).

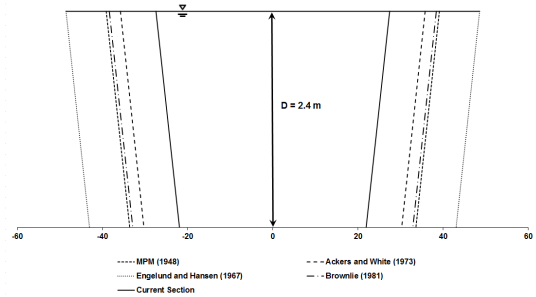


Fig. 8. Comparison of Stable Base Width Calculations with the Fixed Depth

Table 2. Calculation Results of Stable Channel Section with the Fixed Depth

	Base Width	Slope	Depth
MPM[15]	67.18 m	0.002973	2.4 m
Ackers and White[11]	60.56 m	0.003782	
Engelund and Hansen[8]	85.47 m	0.001686	
Brownlie[14]	65.31 m	0.003175	
Current Section	43.87 m	0.0043	

또한 현재 수심을 기준으로 한 안정경사 분석 결과 모든 공식이 현재 단면경사 0.0043에 비해 완만한 경사를 제시하는 것으로 나타났으며 가장 급한 경사를 제시한 공식은 Ackers and White[11] 공식으로 0.003782로 나타나 하폭을 제한했을 경우의 안정경사 0.03504와 유사한

값을 제시하였다. Engelund and Hansen[8] 공식은 가장 완만한 경사인 0.001686을 제시하였으며, Meyer-Peter and Müller[17] 공식의 경우 0.002973을 제시하는 것으로 나타나 하폭을 제한했을 경우의 안정경사 산정 결과와 유사한 패턴을 가지는 것으로 나타났다(Fig. 9).

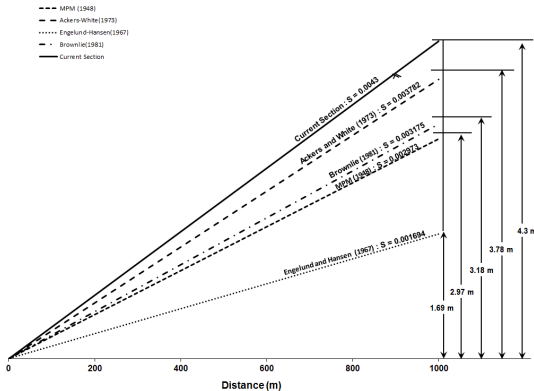


Fig. 9. Comparison of Stable Channel Slopes with the Fixed Depth

5. 결론

본 연구에서는 자갈하상의 대상하천에 대해 설계구속 인자를 고려한 유사이송공식 별 안정하도 설계를 수행하였으며 평가하였으며 결과 분석을 통해 도출된 결론을 정리하면 다음과 같다.

첫째, 현재 하상 경사를 기준으로 유사이송공식 별 예측된 안정하도의 하폭 및 수심을 계산한 결과, 모든 유사량 공식에서 현재 원주천 경사에 비해 완만한 경사를 제시하였으며, 산정 결과 중 가장 급한 경사를 제시한 공식은 Ackers and White[11] 공식, 가장 완만한 경사를 제시한 공식은 Engelund and Hansen[8] 공식이었다. Meyer-Peter and Müller[17] 공식은 Engelund and Hansen[8] 공식을 제외하고 모래하천의 유사이송공식들에 의해 계산된 하상경사 보다 완만한 안정하도 경사를 도출하였으며, Brownlie[14] 공식의 결과와 유사하였다.

둘째, 현재의 하폭이 설계시 고정된다고 가정하였을 경우 각각의 유사이송공식 별로 예측된 안정경사와 바닥 폭을 산정하였으며 그 결과, 모든 유사량 공식에서 현재 원주천 단면 수심에 비해 깊은 수심을 제시하였다. 가장 얕은 수심을 제시한 공식은 Ackers and White[11] 공식이

었고, Engelund and Hansen[8] 공식은 가장 깊은 수심을 제시하였으며, Meyer-Peter and Müller[17] 공식의 경우 실제 하천에 비해 30% 깊은 수심을 제시하였다.

셋째, 현재의 만제유량 수심이 설계시 고정된다고 가정하였을 경우 각각의 유사이송공식 별 예측된 안정하도의 바닥 폭과 경사는 모든 유사량 공식에서 현재 원주천 단면 하폭에 비해 넓은 것으로 나타났다. 또한 안정경사 분석 결과 모든 공식이 현재 단면경사에 비해 완만한 경사를 제시하는 것으로 나타났으며 이는 하폭이 고정된 경우의 안정경사 산정 결과와 유사한 패턴을 가지는 것으로 나타났다.

본 연구를 통해 원주천 대상구간의 안정하도 설계시 유사이송공식에 따라 안정하도 단면 결과값이 다르게 도출되는 것을 확인하였다. 따라서 하천복원사업에서 수행되는 안정하도 단면 설계시 본 연구에서 보여진 유사이송공식에 따른 불확실성 및 민감도를 반드시 검토할 것을 권장하며 이를 위해 본 연구에서 도출된 결과들을 기초자료로 활용할 수 있을 것으로 판단된다.

References

- [1] E. K. Jang, "Analysis of Channel-forming Discharge Calculation and Channel Section Evaluation for Stable Channel Design", Master Thesis, Myongji University, 2012.
- [2] G. A. Griffiths, "Stable-channel design in alluvial rivers", Journal of Hydrology, Vol. 65, No. 4, pp. 259-270, 1983.
DOI: [http://dx.doi.org/10.1016/0022-1694\(83\)90080-X](http://dx.doi.org/10.1016/0022-1694(83)90080-X)
- [3] M. M. Abou-Seida and M. Saleh, "Design of Stable Alluvial Channel", Journal of Hydraulic Research, Vol. 25, No. 4, pp. 433-446, 1987.
DOI: <http://dx.doi.org/10.1080/00221688709499261>
- [4] F. D. Shields Jr. and R. R. Copeland, P. C. Klingeman M. W. Doyle and A. Simon, "Design for Stream Restoration", Journal of Hydraulic Engineering, Vol. 129, No. 8, 2003.
DOI: [http://dx.doi.org/10.1061/\(ASCE\)0733-9429\(2003\)129:8\(575\)](http://dx.doi.org/10.1061/(ASCE)0733-9429(2003)129:8(575))
- [5] U. Ji, P. Y. Julien, J. U. Kang and H. K. Yeo, "Stable Channel Analysis and Design for the Abandoned Channel Restoration Site of Cheongmi Stream using Regime Theory", Journal of Korea Society of Civil

Engineers, Vol. 30, No. 3B, pp. 305-313, 2010.

[6] MOCT, "Basic plan for river maintenance of Wonju Stream", Ministry of Construction & transportation, Korea, 1999.

[7] T. L. McCandless, "Maryland stream survey ; Bankfull discharge and channel characteristics of streams in the allegheny plateau and the valley and ridge hydrologic regions", U.S. Fish and Wildlife Service, 2003.

[8] F. Engelund and E. E. Hansen, "A monograph of sediment transport in alluvial rivers", Technical University of Denmark, Copenhagen, pp. 62, 1967.

[9] H. S. Woo, River Hydraulics, Cheongmoongak, 2001.

[10] U. Ji, "Numerical Model for Sediment Flushing at the Nakdong River Estuary Barrage". Ph.D. Dissertation, Colorado State University, Fort Collins, CO., 2006.

[11] P. Ackers and W. R. White, (1973). "Sediment transport: A new approach and analysis", Journal of Hydraulics Division, ASCE, Vol. 99, No. 11, pp. 2041-2060, 1973.

[12] C. T. Yang, "Incipient motion and sediment transport", Journal of Hydraulics Division, ASCE, Vol. 99, No. 10, pp. 1679-1704, 1973.

[13] H. W. Shen and C. S. Hung, "An Engineering approach to total bed-material load by regression analysis", Completion Report, 17p, 1969.

[14] W. R. Brownlie, "Prediction of flow depth and sediment transport in open channels", Report No. KH-R-43A, Institute of Technology, California, 1981.

[15] H. W. Shen, "Total Sediment Load", River Mechanics, Vol. 1, Ch. 13, pp. 13-22, 1971.

[16] H. Woo and K. Yu, "Development of a Computer-Aided Guideline for the Selection of Sediment Transport Formula", 10th Congress of Asia and Pacific Division of the IAHR, Langkawi, Malaysia, Aug. pp. 26~29, 1996.

[17] E. Meyer-Peter and R. Müeller, "Formulas for bed-load Transport", Proceedings of the 2nd Meeting of the International Association for Hydraulic, International Association of Hydraulic Research Delft, Sweden, pp 39-64, 1948.

[18] R. R. Copeland, "Application of channel stability methods - Case studies", Technical Report No. HL-94-11, United States Army Corps of Engineers, Waterways Experiment Station, Vicksburg, Mississippi, 1994.

[19] M. M. Abou-Seida and M. Saleh, "Design of stable alluvial channels", Journal of Hydraulic Research, Vol. 25, No. 4, pp. 433-446, 1987.
DOI: <http://dx.doi.org/10.1080/00221688709499261>

[20] MOLIT, "River Restoration Program for Coexistence

between Nature and Human(Green River)", Ministry of Land, Infrastructure and Transport, Korea, 2014.

[21] USACE, "Engineering and Design: Channel stability assessment for flood control channels", Engineering Manual 1110-2-1418, CECW-EHD, United States Department of the Army, Washington, D.C., 1994.

지 윤(Un Ji)

[정회원]



- 2006년 12월 : Colorado State University, Dept. of Civil and Environmental Engineering(공학 박사)
- 2007년 3월 ~ 2012년 12월 : 명지대학교(박사후연구원, 연구교수)
- 2012년 12월 ~ 현재 : 한국건설기술연구원 수자원·하천연구소 수석연구원
- 2015년 2월 ~ 현재 : 과학기술연합대학원대학교(UST) 건설환경공학과 부교수

<관심분야>

토목공학, 수리학, 유사이송

장 은 경(Eun-Kyung Jang)

[정회원]



- 2010년 2월 : 명지대학교 공과대학 토목환경공학과(공학사)
- 2012년 2월 : 명지대학교 대학원 공과대학 토목환경공학과(공학석사)
- 2012년 3월 ~ 현재 : 명지대학교 대학원 공과대학 토목환경공학과(박사과정)
- 2013년 6월 ~ 현재 : 한국건설기술연구원 수자원·하천연구소 석사후연구원

<관심분야>

토목공학, 수리학